



Pemanfaatan Sampah Organik Secara Padu Menjadi Alternatif Energi : Biogas dan *Precursor* Briket

Sirin Fairus, Salafudin, Lathifa Rahman dan Emma Apriani

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional,
Jl. PHH Mustafa 23 Bandung,
Email: s.fairus@gmail.com

Abstract

The increasing of energy demand due to consuming world oil resources and population growth as well as fossil fuel emission problems result in impact to every countries to produce and to use alternative energy immediately. Biogas is one of the alternative energy. Biogas can be produced from various kinds of organic wastes such as biomass waste, human feces through anaerobic digestion process. Biogas is flammable, the main component in biogas such as methane (CH_4) and carbon dioxide (CO_2), only small part of hydrogen sulfide (H_2S), nitrogen (N_2), hydrogen (H_2), and carbon monoxide (CO) present in biogas.

Three variations of feeding composition were conducted in this research, such as mixing of organic wastes and cow manure, solid organic waste and cow manure, as well as liquid organic waste and cow manure. Feeding of cow manure was also done as a comparison. The composition ratio between the wastes to cow manure was 1:1 (100 grams: 100 grams). The observation of data was focused to analysis the relation of acidity (pH) degree to biogas flow production, biogas volume produced, and also composition of methane and carbon dioxide. Observation in productivity of biogas revealed that the volume production of biogas from solid and liquid organic waste are 56.22% and 43.45% of total methane production from organic mixed solid-liquid waste.

In the other case, it was analyzed calorific value of the precursor briquette as pyrolysed product. Precursor briquetting process was heated at three variations of temperature i.e $200^\circ C$, $300^\circ C$, and $400^\circ C$ as long as 1, 2, and 3 hours. The highest calorific value, 5 596 cal/gram, was obtained from precursor briquette through heating as long as 3 hours with temperature of $300^\circ C$.

Keywords: Biogas, organik waste, biomass waste, anaerobic digestion, acidity degree (pH), briquette, pyrolysis.

Latar Belakang

Pada zaman global saat ini energi merupakan persoalan yang krusial di berbagai belahan dunia. Peningkatan permintaan energi yang disebabkan oleh pertumbuhan populasi penduduk, menipisnya sumber cadangan minyak serta permasalahan emisi dari bahan bakar fosil. Selain itu, peningkatan harga minyak dunia per barel juga menjadi alasan yang serius yang menimpa banyak negara di dunia terutama Indonesia. Sebagai perbandingan, hal ini dapat kita lihat pada **Tabel 1.1**.

Tabel 1.1 Produksi dan konsumsi minyak bumi Indonesia.

Tahun	Produksi (juta barel/hari)	Konsumsi (juta barel/hari)
2000	1,4	0,9446
2001	1,3	0,9632
2002	1,2	0,9959
2003	1,1	1,0516
2004	1,125	1,0362

Sumber: Media Indonesia, 8 September 2004 dan Kompas, 27 Mei 2004

Menurut data ESDM (2006) cadangan minyak Indonesia hanya tersisa sekitar 9 miliar

barel. Untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar minyak pemerintah telah menerbitkan **Peraturan Presiden Republik Indonesia nomor 5 tahun 2006** tentang kebijakan energi nasional untuk mengembangkan sumber energi alternatif sebagai pengganti bahan bakar minyak. Kebijakan tersebut menekankan pada sumber daya yang dapat diperbaharui sebagai alternative pengganti bahan bakar minyak. Salah satu sumber energi alternatif adalah biogas.

Biogas dapat berasal dari berbagai macam limbah organik seperti sampah biomassa, kotoran manusia, kotoran hewan, dan lain-lain yang dapat dimanfaatkan menjadi energi melalui proses fermentasi anaerobik. Selain itu, sampah juga telah menjadi masalah besar terutama di kota-kota besar di Indonesia.

Masalah di sisi lain, hingga tahun 2020 mendatang, volume sampah perkotaan di Indonesia diperkirakan akan meningkat lima kali lipat. Permasalahan sampah kota bukanlah masalah baru karena sudah merupakan bagian

dari konsekuensi hidup. Meningkatnya sampah perkotaan telah menimbulkan berbagai permasalahan lingkungan. Bukan hanya pemandangan tak sedap atau bau busuk yang ditimbulkannya tetapi juga ancaman terhadap kesehatan publik, polusi udara, pencemaran air, hambatan bagi kegiatan kota, serta menjatuhkan nilai dan kualitas sarana kota yang ada.

Tujuan Penelitian

Tujuan yang hendak dicapai dari penelitian ini adalah:

1. Produksi biogas yang dihasilkan dari pengolahan berbagai komposisi sampah organik secara fermentasi anaerobik,
2. Komposisi metana dan karbon dioksida dalam biogas
2. Nilai kalori dari *precursor* briket hasil pirolisis sampah organik padat

Tinjauan Pustaka

Sampah

Dalam Undang-undang RI No 18 tahun 2008 tentang pengelolaan sampah, definisi sampah adalah sisa kegiatan sehari-hari manusia dan/atau proses alam yang berbentuk padat.

Sampah bisa digolongkan menjadi sampah organik dan anorganik. Sampah anorganik seperti plastik dan logam tidak dapat diolah dengan cara memanfaatkan aktifitas organisme hidup lainnya. Sehingga sampah anorganik juga disebut sebagai *non-biodegradable waste*. Beberapa jenis sampah yang termasuk organik atau *biodegradable waste* adalah sisa makanan, tumbuhan, hewan, kertas, dan *manure*.

Sumber sampah yang terbanyak dari pemukiman dan pasar tradisional. Sampah pasar seperti sayur mayur, buah-buahan, ikan, dan lain-lain, sebagian besar (95%) berupa sampah organik sehingga lebih mudah untuk ditangani dan bisa diurai oleh mikroba. Sedangkan sampah yang berasal dari pemukiman umumnya sangat beragam, tetapi secara umum minimal 75% terdiri dari sampah organik dan sisanya anorganik (Sudradjat, 2006).

Biogas Sebagai Sumber Energi Alternatif

Salah satu energi terbarukan yang dapat dihasilkan dengan teknologi tepat guna yang relatif lebih sederhana adalah energi biogas dengan memproses limbah biomassa di dalam alat kedap udara yang disebut *digester*.

Biogas adalah gas mudah terbakar (*flammable*) yang dihasilkan oleh aktifitas anaerobik atau fermentasi dari bahan-bahan organik oleh bakteri-bakteri anaerob (bakteri yang hidup dalam kondisi kedap udara) termasuk diantaranya kotoran manusia dan hewan, limbah

domestik, dan sampah *biodegradable*. Proses degradasi tanpa melibatkan oksigen ini disebut *anaerobic digestion*.

Methan dalam biogas, bila terbakar akan relatif lebih bersih daripada batu bara, dan menghasilkan energi yang lebih besar dengan emisi karbon dioksida yang lebih sedikit. Karbon dalam biogas merupakan karbon yang diambil dari atmosfer oleh fotosintesis tanaman, sehingga bila dilepaskan lagi ke atmosfer tidak akan menambah jumlah karbon di atmosfer bila dibandingkan dengan pembakaran bahan bakar fosil.

Tabel 2.2 Komposisi biogas dari berbagai substrat.

SENYAWA	Komponen Biogas dari Berbagai Sumber		
	Sampah kota	Kotoran hewan	Residu pertanian
Methan (CH ₄)	54 - 74 %	57,7 %	50-70 %
Karbon dioksida (CO ₂)	27- 45 %	32,8 %	48,2 %
Oksigen (O ₂)	0,1 %	1,5 %	0,1 %
Nitrogen (N ₂)	0,5 - 3 %	7,8 %	1,34 %

Sumber: Harahap, 1978, dalam Mariana, 2002.

Nilai kalori gas methan 17% lebih tinggi dari bensin. Nilai kalori gas methan murni 8.900 kcal/m³, sedangkan nilai kalori biogas yang masih berupa campuran gas-gas berkisar 5.000-6.513 kcal/m³ (<http://www.banjartjara.go.id/redesign/>). Oleh karena itu biogas sangat cocok digunakan sebagai bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan pengganti minyak tanah, LPG, butana, batu bara, maupun bahan-bahan lain yang berasal dari fosil.

Energi yang terkandung dalam biogas tergantung dari konsentrasi methan. Semakin tinggi kandungan methan maka semakin besar kandungan energi (nilai kalor) pada biogas, dan sebaliknya semakin kecil kandungan methan semakin kecil nilai kalor (www.dikti.org/?=node/9912)

Sifat-Sifat Fisika dan Kimia Komponen Terbesar Biogas

Komponen terbesar umumnya gas metan (CH₄) dan CO₂. Gas methan merupakan gas yang tidak berwarna, tidak berbau, mudah terbakar, dan dalam pengapian berwarna biru. Karbon dioksida merupakan gas yang tidak berwarna, tidak berbau, dan bukan gas yang mudah terbakar.

Proses Pembentukan Biogas

Gas methan (CH₄) dapat terbentuk karena proses fermentasi secara anaerobik oleh bakteri anaerobik dan bakteri biogas yang mengurangi sampahsampah yang banyak

mengandung bahan organik sehingga terbentuk gas metan yang apabila dibakar dapat menghasilkan energi panas. Secara umum kandungan senyawa karbon yang termasuk dalam *Volatile Solid* (VS) dalam sampah organik dapat dikonversi menjadi biogas (gas metan dan karbon dioksida), sedangkan kandungan bahan organik lain dapat digunakan sebagai pupuk organik.

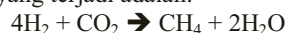
Aktifitas Anaerobik

Proses *anaerobic digester* ini berlangsung dalam empat tahap sebagai Berikut (Sidik, 2008 dan Sudradjat, 2006).

1. Proses *hydrolysis*, yaitu dekomposisi bahan organik polimer seperti protein, karbohidrat, dan lemak menjadi monomer yang mudah larut seperti glukosa, asam lemak, dan asam amino yang dilakukan oleh sekelompok bakteri fakultatif seperti *lipolytic bacteria*, *cellulolytic bacteria*, dan *proteolytic bacteria*.
2. Proses *acidogenesis*, yaitu dekomposisi monomer organik menjadi asam-asam organik dan alkohol. Pada proses ini, monomer organik diuraikan lebih lanjut oleh *acidogenic bacteria* menjadi asam-asam organik seperti asam format, asetat, butirat, propionat, laktat, ammonia, serta dihasilkan juga CO₂, H₂, dan etanol.
3. Proses *acetogenesis*, yaitu perubahan asam organik dan alkohol menjadi asam asetat. Pada proses ini senyawa asam organik dan etanol diuraikan *acetogenic bacteria* menjadi asam format, asetat, CO₂, dan H₂.
4. Proses *methanogenesis*, yaitu perubahan dari asam asetat menjadi metan. CH₄ adalah produk akhir dari degradasi anaerob. Pembentukan metan dapat terjadi melalui dua cara. Cara pertama adalah fermentasi dari produk utama dari tahap pembentukan asam, yaitu asam asetat menjadi CH₄ dan CO₂ :



Cara kedua adalah penggunaan H₂ oleh beberapa methanogen untuk mereduksi CO₂ menjadi CH₄. Reaksi yang terjadi adalah:



Faktor-faktor yang Mempengaruhi Proses Fermentasi Anaerobik

Beberapa faktor seperti umpan dan lingkungan sangat mempengaruhi perolehan biogas yang dihasilkan. Faktor-faktor tersebut diantaranya adalah sebagai berikut:

Komposisi umpan

Umpan yang digunakan biasanya memiliki kandungan nutrisi utama yang dibutuhkan mikroorganisme yang terlibat dalam proses, yaitu: karbon, berfungsi sebagai sumber energi dan unsur pembangun tubuh mikroorganisme ,

nitrogen, berfungsi sebagai komponen pembangun tubuh mikroorganisme (protein dan asam lemak) dan menciptakan stabilisasi kondisi lingkungan yang optimum bagi pertumbuhan mikroba, dan posfat berfungsi sebagai komponen pembangun tubuh mikroorganisme dan sebagai makromineral serta menjaga kondisi lingkungan yang optimum bagi pertumbuhan mikroorganisme. Garam-garam organik dalam jumlah kecil, berfungsi untuk mengontrol tekanan osmotik internal.

Kadar Air

Agar dapat beraktifitas secara normal, mikroba penghasil biogas memerlukan substrat dengan kadar air 90% dan kadar padatan 8– 10% (Sidik, 2008).

Ukuran dan Densitas Umpan

Semakin kecil ukuran bahan baku yang digunakan, proses dekomposisi akan semakin cepat karena bidang permukaan bahan yang kontak dengan mikroorganisme semakin luas. Sebaliknya, untuk bahan baku yang berukuran besar (Sudradjat, 2006).

Derajat Keasaman (pH)

Terdapat perbedaan antara pH yang diperlukan oleh *acidogenic bacteria* dengan *methanogenic bacteria*. *Acidogenic bacteria* memerlukan pH berkisar 4,5 – 7. Sementara itu, *methanogenic bacteria* bekerja pada kisaran pH 6,2 – 7,8(5). Pada pH rendah, laju produksi dan akumulasi asam organik akan lebih berefek negatif terhadap bakteri methanogenik daripada kelompok bakteri yang lain.

Akumulasi asam-asam organik akan menghambat pertumbuhan mikroba yang terlibat dalam fermentasi dan akan membentuk buffer asam lemah yang akan menyebabkan pH semakin turun. Apabila kondisi ini berlangsung dalam waktu yang lama maka bakteri penghasil metan yang sangat sensitif terhadap lingkungan akan mati sehingga proses fermentasi akan berhenti.

Nilai pH yang tinggi akan menyebabkan produksi ammonium yang cukup banyak. Ammonium dalam konsentrasi tinggi akan bersifat racun yang dapat menghambat pertumbuhan mikroorganisme dalam fermentasi. Kestabilan pH fermentasi dapat dijaga dengan menggunakan kapasitas penyangga (Sidik, 2008).

Temperatur

Umumnya *digester* yang digunakan untuk mengolah sampah kota (*municipal digester*) didesain untuk beroperasi pada rentang mesofilik(12). Secara alami rentang temperatur

mesofilik (30-35°C) dapat dicapai oleh proses dekomposisi anaerobik secara normal.

Briket

Pembriketan adalah salah satu teknologi pemadatan, dimana suatu bahan dikenai tekanan untuk membentuk produk yang mempunyai *bulk density* lebih tinggi, kandungan air yang lebih rendah, dan keragaman dalam ukuran, dan sifatsifat bahannya.

Ada dua cara untuk menyempurnakan pemadatan dengan atau tanpa pengikat. Pengikat dibutuhkan untuk membuat bahan yang akan dibriketkan menjadi homogen selama proses penekanan. Tanpa pengikat, briket akan remuk menjadi potongan-potongan saat diangkat dari cetakan. Namun, terdapat bahan yang tidak memerlukan *binder*, yaitu bahan yang pada suhu dan tekanan tinggi dapat bersifat perekat atau pengikatnya sendiri (Holmes dan Mutaqqien, 2007).

Mutu briket sebagai bahan bakar dipengaruhi oleh jenis bahan baku dan kadar air briket serta tekanan pengempaan. Pengempaan dengan tekanan tinggi tidak selalu menghasilkan mutu briket yang lebih baik, karena briket yang sangat padat justru menurunkan efisiensi pembakaran dan menyulitkan penggunaan.

Selain sampah dapat diolah menjadi biogas, sampah juga dapat diolah menjadi briket. Adapun jenis briket dari limbah pertanian antara lain, briket arang serasah, briket sekam, briket kotoran sapi, dan lain-lain. Briket jenis sampah organik relatif lebih murah dan sederhana. Dalam prosesnya, hanya arang yang berwarna hitam pekat yang diolah karena lebih berkualitas dalam menghasilkan energi (<http://www.lpp.ac.id/index.php>).

Proses Pengolahan Briket Karbonisasi

Karbonisasi merupakan pemanasan suatu material organik pada temperatur relatif lebih tinggi tanpa oksigen yang cukup untuk terbakar (jumlah oksigen dibatasi) untuk menghasilkan arang karbon. Karbonisasi bertujuan untuk melepaskan bahan-bahan yang mudah menguap tanpa menggunakan udara sehingga kandungan karbon semakin besar (Kartika dan Paramita, 2007)

Proses Pirolisis

Pirolisis bukanlah suatu proses pembakaran namun pirolisis dapat diartikan sebagai peristiwa dekomposisi termal dari material organik yang menggunakan panas tanpa adanya oksigen. Pirolisis temperatur tinggi yang hanya menyisakan karbon sebagai residu disebut dengan karbonisasi. Pirolisis merupakan kasus

khusus dari *thermolysis*. Pirolisis dapat dibagi menjadi dua, yaitu :

a. Flash pirolisis

Flash pirolisis ini pada umumnya menghasilkan produk berupa cairan yang dapat digunakan sebagai *oil / liquid fuel substitutions*.

b. Slow pirolisis

Proses pirolisis dari material biomassa akan menghasilkan *solid char* yang dapat digunakan sebagai *solid fuel / slury fuel*. Pada proses ini material biomassa akan mengalami beberapa tahap perubahan secara fisika dan kimiawi. Perubahan fisika yang terjadi meliputi pelunakan, pengembangan dan pemadatan kembali. Sedangkan proses kimiawinya yaitu perengkahan, depolimerisasi, dan kondensasi(1). Pada saat pirolisis, energi panas mendorong terjadinya oksidasi sehingga molekul karbon yang kompleks terurai, sebagian besar menjadi arang atau karbon. Pirolisis untuk pembentukan arang terjadi pada suhu 150 - 300°C dan peristiwa itu disebut pirolisis primer (Kartikadan Paramita, 2007)

Analisis Kalor

Nilai kalor adalah jumlah panas yang dipindahkan ketika produk dari pembakaran bahan bakar yang diinginkan hingga mencapai suhu awal dari bahan bakarnya atau udara pembakarnya. Analisis kalor dapat dilakukan dengan menggunakan alat *Bomb Calorimeter* dan *Analizer Orsat*. Nilai kalor merupakan salah satu indikator utama dari setiap jenis bahan bakar komersial.

Metodologi

Pada penelitian pemanfaatan sampah organik secara padu menjadi alternatif energi biogas dan *precursor* briket ini dilakukan melalui dua tahap kegiatan, yaitu:

1. Pembuatan biogas
2. Pembuatan *precursor* briket melalui proses pirolisis sampah organik padat.

Bahan dan Alat yang Digunakan

Bahan:

1. Sampah organik
2. Kotoran sapi
3. Air
4. Kapur $\text{Ca}(\text{OH})_2$

Alat utama:

1. Botol gelas sebagai reaktor
2. *selang*
3. *Juicer extractor*
4. Botol air mineral penampung gas
5. Neraca analitik
6. pH meter
7. Oven

8. Furnace
9. Bomb calorimeter
10. Analyzer Orsat

Gambar Peralatan Percobaan



a). Tampak atas.



b). Tampak depan.

Gambar 3.1 Rangkaian alat percobaan pembuatan biogas dari berbagai komposisi sampah organik.

Pembuatan Biogas dari Sampah Organik

Sampah organik yang digunakan pada penelitian ini adalah sayuran kembang kol dan mentimun yang diperoleh dari pasar tradisional di Kota Bandung, Jawa Barat. Langkah-langkah pengolahan sampah organik dengan teknologi fermentasi anaerobik adalah sebagai berikut:

1. Persiapan komposisi sampah organik (umpan)
- 2...Fermentasi anaerobik melalui proses *hydrolisis*, *acidogenesis*, *acetogenesis*, dan *methanogenesis*
3. Pengecekan dan menjaga kestabilan pH
4. Analisis kandungan CO₂ produk biogas

Pada penelitian ini dilakukan persiapan umpan terlebih dahulu, yaitu persiapan komposisi sampah organik yang telah ditentukan sekaligus dilakukannya pemotongan. Sampah Umpan ini dibedakan menjadi 3 (tiga) variasi dan 1 (satu) sebagai pembanding, yaitu:

1. Sampah organik padat-cair dan kotoran sapi (rasio umpan 1:1). Sampah organik (sayuran) sebanyak 100 gram dipotong-potong dengan menggunakan *juicer extractor*. Produk yang dihasilkan dari *juicer extractor* ini berupa cairan dan padatan yang terpisah. Kemudian padatan dan cairan tersebut dicampurkan kembali dan campuran inilah yang dijadikan umpan.
2. Sampah organik padat dan kotoran sapi (rasio umpan 1:1) Sampah organik (sayuran) sebanyak 200 gram dipotong-potong dengan menggunakan *juicer extractor*. Produk yang dihasilkan berupa padatan dan cairan. Untuk variasi umpan ini, hanya padatannya yang diambil dan digunakan sebagai umpan. Padatan yang dihasilkan dari *juicer extractor* ini ± 100 gram.
3. Sampah organik cair dan kotoran sapi (rasio umpan 1:1). Sampah organik (sayuran) sebanyak 200 gram dipotong-potong dengan menggunakan *juicer extractor*. Produk yang dihasilkan berupa padatan dan cairan. Untuk variasi umpan ini, hanya cairannya yang diambil dan digunakan sebagai umpan. Cairan yang dihasilkan dari *juicer extractor* ini ± 100 ml.
4. Kotoran sapi tanpa sampah organik (sebagai pembanding). Kotoran sapi yang digunakan sebanyak 100 gram.

Dalam prosesnya, fermentasi anaerobik terjadi di dalam botol gelas yang dilengkapi dengan selang sebagai transportasi gas yang akan dihasilkan. Masing-masing umpan diatas dimasukkan ke dalam botol gelas dan ditambahkan dengan kotoran sapi sebanyak 100 gram (kecuali untuk pembanding tidak ditambahkan lagi dengan kotoran sapi). Kemudian diencerkan dengan air sampai dengan 2/3 dari botol gelas dan 1/3 botol gelas adalah ruang kosong.

Kondisi operasi kegiatan ini dilakukan secara *batch* dalam skala laboratorium, pH dijaga antara 6-8 dan dilakukan penambahan zat kapur Ca(OH)₂ sebagai penyangga bila suatu waktu larutan menjadi asam, dan proses berlangsung pada tekanan dan temperatur ruang.

Biogas yang telah dihasilkan dari setiap perlakuan variasi percobaan pada tahap akhir penelitian ini, kemudian dilakukan analisis biogas dengan menggunakan *Analyzer Orsat* dan dihitung komposisi CO₂ dalam biogas tersebut. Selajutnya dilakukan pengukuran kadar air, perubahan Derajat Keasaman (pH) substrat dan *Volatile Solid* sampah organik dan *Sludge*.

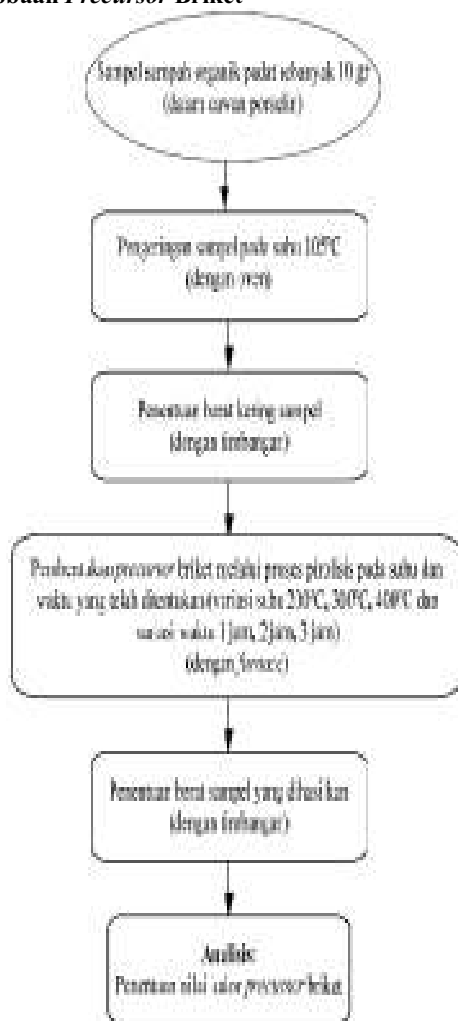
Pirolisis Sampah Organik Padat

Pada tahap kegiatan kedua ini, kegiatan penelitian dilakukan melalui 4 (empat) tahap kegiatan, yaitu:

1. Persiapan bahan (sampah organik sayuran)
2. Pengeringan bahan

3. Pembentukan *precursor* briket
4. Analisis nilai kalor *precursor* briket

Percobaan *Precursor* Briket

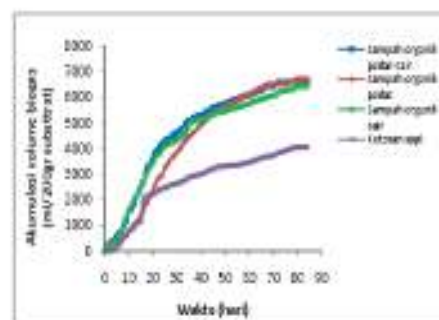


Gambar 3.4 Diagram alir kegiatan pirolisis sampah organik padat.

Hasil dan Pembahasan

Produktivitas Biogas

Percobaan yang dilakukan untuk mengkaji produktivitas biogas dari berbagai komposisi sampah organik memperlihatkan hasil seperti pada **Gambar 4.1** berikut.



Gambar 4.1 Grafik hubungan antara akumulasi volume biogas dengan waktu proses fermentasi dari berbagai komposisi sampah organik.

Pada di atas terlihat bahwa biogas yang dihasilkan terus meningkat. Proses fermentasi anaerobik berlangsung melalui tahap-tahap proses *hydrolysis*, *acidogenesis*, *acetogenesis*, dan *methanogenesis*, sehingga menghasilkan biogas dan terus bertambah setiap hari selama bakteri pengurai masih terus bertumbuh dan beraktivitas.

Pada grafik di atas terlihat bahwa biogas yang dihasilkan tiap bahan memiliki volume yang berbeda-beda. Produksi biogas dari sampah organik padat berjalan lebih lambat daripada sampah organik padat-cair dan sampah organik cair. Namun pada akhirnya produksi biogas dari sampah organik padat dapat menyusul dan menghasilkan biogas terbanyak daripada sampah organik padat-cair dan sampah organik cair.

Suatu bahan untuk dapat terdistribusi dengan air tergantung pada ukuran partikel suatu bahan. Ukuran partikel yang kecil sangat mendukung dalam proses pelarutan bahan-bahan organik guna menguraikan zat organik tersebut menjadi asam organik yang kemudian dikonversi menjadi CH_4 dan CO_2 .

Pada pengumpanan komposisi sampah organik padat memiliki ukuran partikel yang cukup besar dan densitas relatif rendah sehingga terkonsentrasi di bagian atas medium atau tidak terdistribusi dengan air secara baik serta memiliki serat-serat yang sukar larut dengan air. Pada proses disintegrasi, terjadi proses pemecahan bahan partikulat menjadi senyawa organik seperti karbohidrat, protein, dan lemak yang akan dihidrolisis. Di dalam tumbuhan terdapat selulosa dan hemiselulosa sebagai komponen karbohidrat dan bahan pembentuk dinding sel.

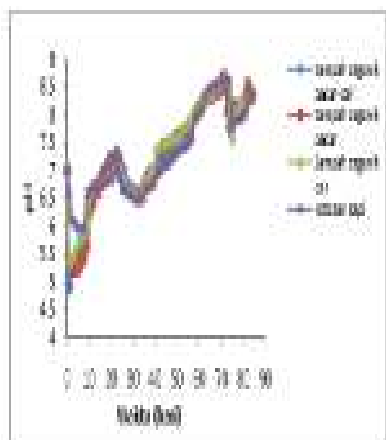
Namun pada hari ke-44, perolehan biogas dari sampah organik padat ini dapat menyamai perolehan biogas dari sampah organik cair yaitu sebesar 5310 ml. Kemudian dapat menyusul dan mendahului perolehan biogas dari sampah organik padat-cair. Pada awalnya produksi biogas berjalan lambat, tetapi sampah organik

padat relatif lebih kaya akan karbohidrat, protein, dan lemak. Hal ini karena senyawa organik makromolekul ini tidak larut di dalam air sehingga terkonsentrasi dalam fasa padat. Ketiga senyawa organik tersebut merupakan komponen penting penghasil energi yang sangat dibutuhkan oleh mikroorganisme.

Bahan sampah organik padat dengan kadar air sebesar 91,93% ini merupakan kondisi umpan yang cukup baik untuk menghasilkan biogas lebih banyak daripada sampah organik padat-cair dan sampah organik cair. Kadar air berpengaruh karena dapat menjamin proses dekomposisi secara biologis, menjamin pencampuran dan ketersediaan nutrisi, menstimulasi pertumbuhan bakteri dan proses *methanogenesis*, serta menjaga temperatur tetap konstan.

Perubahan Derajat Keasaman (pH) Terhadap Produksi Biogas

Gambar 4.2 merupakan grafik kondisi pH yang dapat memprediksikan bagaimana kondisi bakteri-bakteri pengurai. Terdapat perbedaan antara pH yang diperlukan oleh bakteri-bakteri tertentu di dalam proses fermentasi anaerobik.



Gambar 4.2 Grafik hubungan pH dengan waktu proses fermentasi dan berbagai komposisi sampah organik.

Pada hari ke-0 adalah hari pengisian umpan bersama kotoran sapi. Pada hari pertama terjadi perubahan atau penurunan pH secara drastis. Hal ini menunjukkan bahwa proses fermentasi anaerobik sedang berlangsung. Dimulai dari tahap proses *hydrolysis*, dimana terjadi dekomposisi senyawa organik makromolekul seperti protein, karbohidrat, dan lemak menjadi monomer yang mudah larut seperti glukosa, asam lemak, dan asam amino yang dilakukan oleh *lipolytic bacteria*, *cellulolytic bacteria*, dan *proteolytic bacteria*.

Proses *acidogenesis*, dimana monomer organik diuraikan lebih lanjut oleh *acidogenic bacteria* menjadi asam-asam organik seperti asam format, asetat, butirat, propionat, laktat, amonia, serta dihasilkan juga CO_2 , H_2 , dan etanol. *Acidogenic bacteria* ini memerlukan pH berkisar 4,5 – 7.

Proses *acetogenesis*, pada proses ini senyawa asam organik dan etanol diuraikan *acetogenic bacteria* menjadi asam format, asetat, CO_2 , dan H_2 .

Proses *methanogenesis*, yaitu perubahan dari asam asetat menjadi CH_4 , CO_2 , H_2O . *Methanogenic bacteria* bekerja pada kisaran pH 6,2 – 7,8. Namun pada percobaan ini *methanogenic bacteria* bekerja optimum sampai pada pH 7,02 untuk komposisi sampah organik padat-cair, pH 7,15 untuk komposisi sampah organik padat dan pH 7,03 untuk komposisi sampah organik cair. Pada hari ke-23 (sampah organik padat) dan hari ke-24 (sampah organik padat-cair dan sampah organik cair) terjadi penurunan pH untuk semua komposisi sampah organik sampai pada hari ke-33. Hal 6,2 – 7,8.

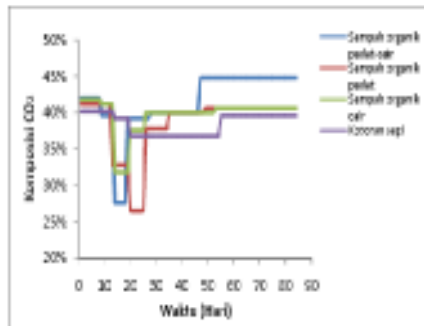
Pada percobaan ini *methanogenic bacteria* bekerja optimum sampai pada pH 7,02 untuk komposisi sampah organik padat-cair, pH 7,15 untuk komposisi sampah organik padat dan pH 7,03 untuk komposisi sampah organik cair. Pada hari ke-23 (sampah organik padat) dan hari ke-24 (sampah organik padat-cair dan sampah organik cair) terjadi penurunan pH untuk semua komposisi sampah organik sampai pada hari ke-33. Hal ini disebabkan karena pada proses *hydrolysis* terjadi dekomposisi protein menjadi ammonium. Ammonium berkesetimbangan dengan NH_3 dari larutan dan hasil biogas. Ammonium pada konsentrasi tinggi dapat bersifat racun dan menghambat proses anaerobik.

Semua bakteri yang terlibat di dalam proses anaerobik ini sensitif terhadap ammonium, terutama *methanogenic bacteria* yang dapat menjadi inaktif bahkan mati. Sedangkan produksi asam organik atau CO_2 berlangsung terus-menerus dan terakumulasi serta kemampuan *methanogenic bacteria* dalam mengkonversi asam organik tersebut juga membutuhkan waktu yang lama. Akumulasi asam-asam organik dan CO_2 ini jauh lebih besar bila dibandingkan pengaruh produksi ammonium sehingga pH menjadi rendah. Untuk mengetahui jumlah produksi dan komposisi CO_2 di dalam biogas yang dihasilkan maka dilakukan analisis orsat. Hal ini dapat dilihat pada **Tabel 4.2** dan **Gambar 4.3** sebagai berikut.

Hasil Analisis Gas Methan (CH₄)

Tabel 4.1 Komposisi CO₂ dan CH₄ dari berbagai komposisi sampah organik

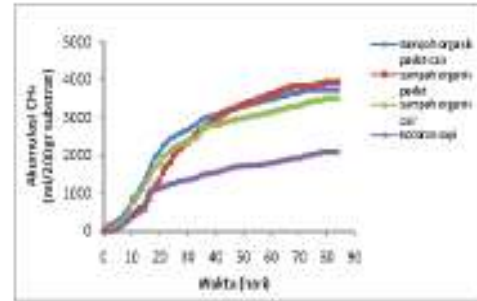
No. Bedi	Sampah organik padat-cair			Sampah organik padat			Sampah organik cair			Kotoran sapi		
	Hari ke	CO ₂	CH ₄	Hari ke	CO ₂	CH ₄	Hari ke	CO ₂	CH ₄	Hari ke	CO ₂	CH ₄
I	1-3	42%	5%	1-2	41,34%	3,83%	1-3	41,34%	3,13%	1-20	40,2%	32,3%
II	4-6	39,6%	3,4%	3-8	32,89%	12,29%	9-11	41,34%	11,87%	14-15	40,2%	31,3%
III	14-15	37,6%	5,4%	21-23	31,79%	16,53%	14-18	31,34%	11,79%	23-24	30,8%	33,7%
IV	19-21	30,2%	11,7%	26-24	33,04%	27,29%	19-21	13,69%	11,49%	25-24	30,8%	32,3%
V	28-28	40%	2%	35-38	4%	5%	19-21	4%	3%			
VI	42-44	44,3%	9,7%	43-44	40,2%	34,4%	31-34	40,2%	34,4%			



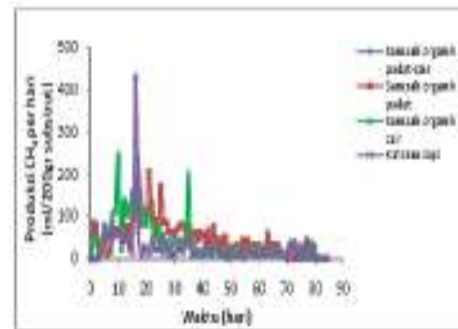
Gambar 4.3 Grafik hubungan komposisi CO₂ dengan waktu proses fermentasi dari berbagai komposisi sampah organik.

Gambar 4.3 di atas memperlihatkan bahwa masing-masing komposisi sampah organik dan kotoran sapi memiliki kecenderungan kandungan CO₂ yang pada awalnya cukup tinggi dengan pH rendah (asam) karena proses fermentasi anaerobik disini didominasi oleh tahap atau bakteri *hydrolysis* sampai *acetogenesis*. Kemudian kandungan CO₂ nya menjadi semakin rendah (produksi CH₄ menjadi semakin tinggi) dengan pH dalam kondisi stabil. Hal ini menunjukkan bahwa pada proses fermentasi anaerobik sudah didominasi oleh tahap pembentukan gas methan (*methanogenesis*) dimana *methanogenic bacteria* menjadi lebih optimum bekerja pada pH 6,2 – 7,8.

Namun pada hari tertentu kandungan CO₂ menjadi tinggi kembali yang disebabkan oleh adanya penurunan pH sehingga mempengaruhi aktifitas *methanogenic bacteria* di dalam mengkonversi CH₄ (produksi CH₄ menjadi rendah). Karena dikhawatirkan semua *methanogenic bacteria* akan mati bila terjadi penurunan pH secara terus menerus dan mencapai pH lebih kecil dari 6, maka dilakukan penambahan kapur Ca(OH)₂ sebanyak 5 gram pada hari ke-33 untuk semua percobaan dengan tujuan menjaga kestabilan pH tersebut.



Gambar 4.4 Grafik hubungan akumulasi CH₄ dengan waktu proses fermentasi dari berbagai komposisi sampah organik.



Gambar 4.5 Grafik hubungan produksi CH₄ per hari dengan waktu proses fermentasi dari berbagai komposisi sampah organik.

Pada **Gambar 4.4** dan **Gambar 4.1** dapat dilihat bahwa peningkatan produksi gas methan (CH₄) seiring dengan peningkatan volume biogas. Dan pada **Gambar 4.5** dapat dilihat bahwa produksi CH₄ optimum dari sampah organik padat-cair terjadi pada hari ke-17 yaitu 234,9 ml, produksi CH₄ optimum dari sampah organik padat terjadi pada hari ke-21 yaitu 205,5 ml, dan produksi CH₄ optimum dari sampah organik cair terjadi pada hari ke-10 yaitu 247,48 ml.

Pada percobaan ini, dilakukan analisis orsat untuk mengetahui komposisi CO₂ sehingga diketahui produksi CH₄ melalui perhitungan. Adapun perbandingan total produksi CH₄ murni dari berbagai komposisi sampah organik adalah sebagai berikut.

Dari Tabel 4.3 diketahui bahwa produksi CH₄ terbanyak adalah variasi komposisi sampah organik padat yaitu 1838,77 ml CH₄ murni. Sedangkan komposisi sampah organik padat-cair dan sampah organik cair memiliki jumlah produksi CH₄ murni lebih sedikit. Hal ini seiring dengan produksi biogas yang dihasilkan juga lebih sedikit bila dibandingkan dengan komposisi sampah organik padat.

Tabel 4.3 Total produksi CH_4 murni dari berbagai komposisi sampah organik (tidak termasuk CH_4 dari kotoran sapi).

Komposisi sampah organik (sampel)	Volume CH_4 (ml)
Sampah organik padat-cair	1635,43
Sampah organik padat	1838,77
Sampah organik cair	1421,27

Berdasarkan hasil analisis CH_4 yang diperoleh, sampah organik padat memiliki potensi yang lebih baik yaitu sebesar 56,22% dari total produksi CH_4 sampah organik padat-cair untuk dijadikan sebagai energi alternatif. Sedangkan sampah organik cair hanya 43,45% dari total produksi CH_4 sampah organik padatcair.

Kandungan *Volatile Solid* dari Sampah Organik dan *Sludge Biogas*

Parameter persentase *volatile solid* mewakili sampah organik dengan besarnya kandungan senyawa karbon yang dapat dikonversi menjadi biogas. Senyawa tersebut umumnya pada temperatur $500 \pm 50^\circ\text{C}$ akan menguap. Pada percobaan ini, untuk menganalisa *sludge* dari proses fermentasi anaerobik dilakukan dengan mengukur kandungan *volatile solid*-nya. Adapun kandungan *volatile solid* dari berbagai komposisi sampah organik dan *sludge* biogas dapat dilihat pada **Tabel 4.4** dan **Tabel 4.5** berikut.

Tabel 4.4 Kandungan *volatile solid* sampah organik dan kotoran sapi

No	Variasi sampel	Berat awal (g)	Berat kering (g)	Berat setelah di kovenir (g)	% (%)
1	Sampah organik padat-cair	10	0,64	0,123	0,01
2	Sampah organik padat	10	0,887	0,088	0,01
3	Sampah organik cair (30%air)	101,894	12,79	0,801	0,00
4	Kotoran sapi	10	1,227	0,273	0,70

Tabel 4.5 Kandungan *volatile solid* *sludge* biogas

No	Variasi sampel	Berat awal (g)	Berat kering (g)	Berat setelah di kovenir (g)	% (%)
1	Sampah organik padat-cair	10	1,65	0,561	0,40
2	Sampah organik padat	10	1,009	0,552	0,55
3	Sampah organik cair	10	0,918	0,44	0,52
4	Kotoran sapi	10	1,227	0,68	0,42

Dari tabel di atas diperoleh konversi sampah organik padat-cair, sampah organik padat, dan sampah organik cair menjadi biogas secara berurutan yaitu 43,22% ; 44,15% ; 42,42%.

Pirolisis Sampah Organik Padat

Pengaruh Temperatur Pirolisis

Hasil utama dari pirolisis salah satunya adalah berupa padatan yang mengandung karbon dan biasanya berwarna hitam. Hal ini mengindikasikan bahwa *precursor* briket sudah terpirolisis. Sedangkan pada suhu pemanasan 400°C dengan waktu pemanasan selama 1 jam, 2 jam, dan 3 jam, *precursor* briket yang dihasilkan menjadi abu atau rapuh. Rupuhnya suatu briket (*precursor* briket) diakibatkan karena terlalu banyak rantai karbon selulosa yang terurai.

Nilai Kalor *Precursor Briket*

Mutu briket yang dihasilkan diantaranya dapat ditentukan oleh kandungan air yang lebih rendah dan besarnya nilai kalor yang dimiliki oleh briket sebagai syarat agar dapat digunakan untuk bahan bakar. Oleh karena itu, dilakukan analisis terhadap *precursor* briket hasil pirolisis pada suhu 300°C dengan waktu pemanasan 1 jam, 2 jam, dan 3 jam. Hasil *precursor* briket dengan pirolisis pada suhu 300°C ini memiliki warna hitam dan kadar air yang lebih rendah daripada hasil *precursor* briket dengan pirolisis pada suhu 200°C dan 400°C . Adapun nilai kalor *precursor* briket yang dihasilkan pada suhu 300°C dapat dilihat pada **Tabel 4.8** berikut.

Tabel 4.8 Hasil analisis nilai kalor.

Suhu ($^\circ\text{C}$)	Waktu pemanasan (jam)	Nilai kalor (kal/gr)
300	1	5176,26
	2	5481,09
	3	5596,36

Dari tabel di atas diketahui bahwa *precursor* briket dengan nilai kalor tertinggi adalah sampel *precursor* briket pirolisis pada suhu 300°C dengan waktu pemanasan 3 jam yaitu 5596,36 kal/gr.

Perbandingan Perolehan Energi Antara Biogas dari Berbagai Komposisi Sampah Organik dengan *Precursor Briket*

Perolehan nilai kalor biogas dari berbagai komposisi sampah organik dan *precursor* briket pada **Tabel 4.9** di bawah ini.

Tabel 4.9 Nilai kalor biogas dan *precursor* briket.

Sumber energi	Total biogas (ml)	Nilai kalor (kal/100gr)	Nilai kalor (kal/gr)
Sampah organik padat-cair	2560	16673,38	156,73
Sampah organik padat	2670	17389,71	173,90
Sampah organik cair	2390	11596,67	155,66
Kotoran sapi	4050	26377,65	283,76
<i>Precursor</i> briket			5596,36

Penelitian ini dilatar belakangi oleh salah satunya adalah pemanfaatan sampah organik. Dengan memanfaatkan sampah organik untuk sumber energi alternatif biogas, komposisi sampah organik padat memiliki nilai kalor yang lebih besar daripada komposisi sampah organik lainnya yaitu sebesar 173,90 kal/gr. Oleh karena itu, sampah organik padat mempunyai potensi yang lebih besar untuk dijadikan energi alternatif biogas. Pernyataan di atas juga didukung dengan pemanfaatan sampah organik padat yang dijadikan sebagai *precursor* briket.

Pada **Tabel 4.9** di atas terlihat bahwa *precursor* briket dari sampah organik padat memiliki nilai kalor yang lebih besar bila dibandingkan dengan nilai kalor biogas dari sampah organik, yaitu sebesar 5596,36 kal/gr. Proses fermentasi anaerobik pada sampah organik di dalam menghasilkan biogas ini tidak terjadi secara maksimal sehingga diperoleh nilai kalor yang rendah. Hal ini dapat dilihat pada **Tabel 4.4** dan **Tabel 4.5** sebelumnya dimana hasil analisis *volatile solid* menunjukkan yang belum terkonversi menjadi biogas cukup besar.

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Pada fermentasi anaerobik terjadi beberapa tahap proses yaitu *hydrolysis*, *acidogenesis*, *acetogenesis*, dan *methanogenesis* yang diikuti dengan perubahan pH.
2. Produksi biogas dari sampah organik padat lebih lambat daripada produksi biogas dari sampah organik padat-cair dan sampah organik cair.
3. Sampah organik padat memiliki potensi sebagai sumber energi alternatif yang lebih besar yaitu sebesar 56,22% dari total produksi CH₄ sampah organik padat-cair. Sedangkan sampah organik cair hanya 43,45% dari total produksi CH₄ sampah organik padat-cair.
4. Pada penelitian ini diperoleh konversi sampah organik padat-cair, sampah organik padat, dan sampah organik cair menjadi biogas secara berurutan adalah 43,22% ; 44,15% ; 42,42%.
5. *Precursor* briket terbaik dari sampah organik padat adalah *precursor* briket dengan pirolisis pada suhu 300°C dan waktu pemanasan 3 jam. Nilai kalor *precursor* briket ini adalah 5596,36 kal/gr.

Saran

Saran yang dapat diberikan dalam penelitian selanjutnya agar lebih baik adalah:

1. Dilakukan analisis kandungan C, N, dan P umpan sebagai percobaan pendahuluan untuk

memperkirakan kelayakan umpan di dalam menghasilkan biogas.

2. Dilakukan *temperature control* di dalam proses fermentasi anaerobik karena temperatur juga berpengaruh terhadap produktivitas dan komposisi biogas.

3. Dilakukan pengembangan penelitian terhadap briket dari sampah organik padat karena melalui penelitian *precursor* briket tersebut mengandung karbon yang cukup besar dan dapat dijadikan bahan bakar alternatif.

Daftar Pustaka

1. Holmes, C. dan Mutaqqien, R. 2007. "Pembuatan Briket dari Serbuk Tempurung Kelapa dengan Penambahan Polietilen". Teknik Kimia, ITENAS.
2. Kartika, E. dan Paramita, S. 2007. "Pembuatan Briket dari Sekam Padi Menggunakan *Polyethylene* Sebagai *Binder*". Teknik Kimia, ITENAS.
3. Khoirul, A. dan Bunga, J. 2006. "Penentuan Produktivitas Biogas pada Berbagai Limbah Organik dengan Proses Fermentasi Anaerobik". Teknik Kimia, ITENAS.
4. Sidik, P. 2008. "Perbandingan Unjuk Kerja Proses Fermentasi Anaerobik *Single Stage* Dengan *Double Stage* Sebagai Alternatif Pengolahan Sampah Kota". Teknik Kimia ITENAS. 2008.
5. Sudradjat, R. 2006. "Mengelola Sampah Kota". Bogor.
6. <http://www.banjar-jabar.go.id/redesign/>
7. <http://www.lpp.ac.id/index.php>
8. <http://www.suaramerdeka.com/harian/0605/22/ragam01.htm>
9. www.dikti.org/?=node/99